

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 87108294.7

51 Int. Cl. 4: F16K 31/00, F16K 27/02

22 Anmeldetag: 09.06.87

30 Priorität: 26.06.86 DE 3621331

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.01.88 Patentblatt 88/01

54 Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE ES FR GB GR IT LI LU NL SE

71 Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT
ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V.**
 Leonrodstrasse 54
 D-8000 München 19(DE)

72 Erfinder: **Cserpregi, Laszlo, Dipl.-Ing.**
 Schopenhauerstrasse 65
 D-8000 München 40(DE)
 Erfinder: **Kühl, Karl, Dipl.-Ing.**
 Bronner Weg 4
 D-8910 Landsberg(DE)
 Erfinder: **Seldel, Helmut, Dipl.-Phys.**
 Moosbichlstrasse 1
 D-8130 Starnberg(DE)

74 Vertreter: **Haft, Berngruber, Czybulka**
 Hans-Sachs-Strasse 5
 D-8000 München 5(DE)

54 **Mikroventil.**

57 Die Erfindung bezieht sich auf ein Mikroventil (1) mit einer auf elektrostatische Kräfte ansprechenden Verschlussmembran (7), die mit Federelementen (8) mit dem Strukturrand eines Siliziumsubstrates (2) verbunden und aus diesem mittels Ätzen hergestellt ist, sowie mit einer durch die Verschlussmembran zu verschließenden und freizugebenden Ventilöffnung (20), in deren Bereich eine Gegenelektrode (15) zu der Verschlussmembran angeordnet ist. Zur Erleichterung der Herstellung und der Schalteigenschaften des Mikroventiles wird gemäß der Erfindung vorgeschlagen, daß sich die Gegenelektrode (15) auf der Oberfläche eines weiteren Substrates, vorzugsweise Glassubstrates (14) befindet, in dem auch die Ventilöffnung (20) vorgesehen ist. Das weitere Substrat (14) ist durch eine Distanzschicht (11) in Abstand von der verschlossenen Membran (7) gehalten. Das weitere Substrat (14) und die Siliziumstruktur (2, 11) werden bevorzugt durch anodisches Bonden miteinander verbunden.

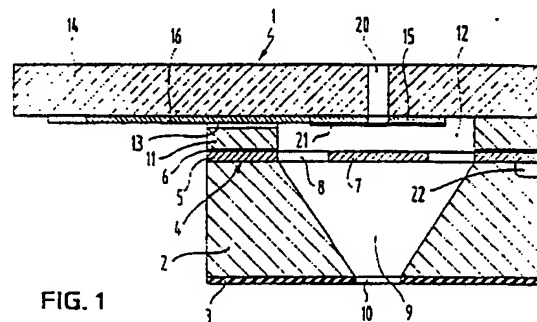


FIG. 1

EP 0 250 948 A2

Die Erfindung bezieht sich auf ein Mikroventil gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Derartige Mikroventile sind z. B. aus dem Forschungsbericht FB-T-84 (September 1984) des Bundesministeriums für Forschung und Technologie bekannt; vgl. dort Seiten 209 ff. Ausgangsmaterial für ein solches Mikroventil ist ein Siliziumeinkristall, auf dessen ebener (100)-oder (110)-Oberfläche eine p⁺-Epitaxieschicht aufgewachsen ist, der eine n-Distanzschicht und eine strukturbildende p⁺-Oberflächenschicht folgen. Aus dieser Oberflächenschicht ist die scheibchenförmige Verschlussmembran mit zwei dünnen Federarmen, z. B. Spiralarmen herausgeätzt, die mit dem Strukturrand des Siliziumsubstrates verbunden sind. Die Verschlussmembran ist somit federnd und senkrecht zur Scheibchenebene leicht beweglich. Aus der n-Distanzschicht ist unterhalb der Verschlussmembran und der Spiralarme eine Ventilkammer herausgeätzt, die bis zur p⁺-Epitaxieschicht reicht. Am Boden dieser Ventilkammer ist eine durch die p⁺-Epitaxieschicht reichende Ventilöffnung vorgesehen, die in einen durch den Siliziumeinkristall hindurchgehenden Ätzkanal mündet. Die Begrenzungswände dieses Ätzkanals fallen mit den (111)-Kristallschichten zusammen.

Die Betätigung der Verschlussmembran erfolgt durch elektrostatische Kräfte, indem zwischen die p⁺-Epitaxieschicht und die p⁺-Oberflächenschicht eine Steuerspannung angelegt wird. Die p-n-Übergänge sind zur elektrischen Isolation notwendig.

Damit verbunden sind jedoch Nachteile in bezug auf die Temperaturempfindlichkeit und die maximal zulässige Steuerspannung.

Ein weiterer Nachteil liegt darin, daß die Verschlussmembran bei geschlossenem Mikroventil, wenn die Verschlussmembran an der p⁺-Epitaxieschicht anliegt, elektrisch gegenüber dieser isoliert werden muß. Hierzu wird die Oberfläche der Verschlussmembran oxidiert, wodurch bei der Herstellung des Mikroventiles ein weiterer Oxidationsschritt erforderlich ist. Hierdurch entstehen jedoch starke mechanische Spannungen in der Verschlussmembran und den Spiralarmen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Mikroventil der in Rede stehenden Art weiterzuentwickeln und bei einfacher Fertigung insbesondere dessen Schalteigenschaften zu verbessern.

Diese Aufgabe ist gemäß der Erfindung durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Demgemäß wird das Mikroventil in Sandwich-Bauweise aus Silizium und einem weiteren Substrat, z. B. aus Glas hergestellt, wobei die Gegenelektrode auf der Glasoberfläche z. B. durch Aufdampfen aufgebracht ist. Die Oberfläche der Gegenelektrode ist mit einer Passivierungsschicht ver-

sehen. Herstellung und Behandlung der Gegenelektrode auf dem Glassubstrat erfolgen vor der Verbindung mit dem Siliziumsubstrat. Das Siliziumsubstrat wird lediglich unter Anwendung der Ätz- und Phototechnik behandelt, so daß die mechanischen Eigenschaften nicht negativ - etwa durch Oxidationsschritte - beeinflusst werden. Durch die Verbindung von Glas- und Siliziumsubstrat werden kaum mechanische Spannungen in der strukturbildenden Schicht erzeugt. Die Verbindung erfolgt bevorzugt durch anodisches Bonden bei kurzzeitiger Temperaturerhöhung auf ca. 400°C. Die beim anschließenden Abkühlen auftretenden Schubspannungen vom Glasrand her werden durch einen geeigneten Rahmen für den Siliziumchip abgefangen, so daß die strukturbildende Schicht mit der Verschlussmembran hierdurch nicht direkt betroffen wird.

Durch die angegebene Sandwich-Bauweise können die Temperatureinflüsse auf das Mikroventil verringert und dessen Schalteigenschaften verbessert werden. Außerdem kann auch die Steuerspannung für die Betätigung der Verschlussmembran angehoben werden, ohne daß Isolationsprobleme entstehen.

Ohne elektrische Ansteuerung wirkt das Mikroventil wie ein Rückschlagventil. In diesem Falle kann die Gegenelektrode fortgelassen werden. Auch eine Anwendung des Mikroventiles als Mikropumpe ist möglich. Hierzu wird entweder die Verschlussmembran entsprechend schnell periodisch angesteuert. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, auf der Gegenelektrode keine elektrisch isolierende Passivierungsschicht vorzusehen, so daß bei Anlegen einer Steuerspannung zwischen Gegenelektrode und Verschlussmembran periodisch durch zunächst anziehende und nach Berührung abstoßende elektrostatische Kräfte die Verschlussmembran oszilliert.

Innerhalb einer Sandwich-Struktur können mehrere Mikroventile aufgebaut werden, die durch Sammelkanäle im Silizium- und/oder Glassubstrat miteinander verbunden sind. Auf diese Weise lassen sich Gas- oder Fluidverteiler und Gas- oder Fluidmischer herstellen.

Durch die Anwendung der aus der Halbleitertechnik bekannten Siliziumtechnologie können Mikroventile in großen Stückzahlen bei geringen Preisen hergestellt werden. Außerdem ist es möglich, auf dem Siliziumsubstrat eine Steuerungschaltung oder Steuerlogik mit Zugriff auf externe Speicher wie ROM's auf einem zusätzlichen Chip (Hybridtechnik) zu integrieren oder mit Mitteln und Methoden der Hybridtechnik zu kombinieren.

Die geometrischen Abmessungen und das Gewicht derartiger Mikroventile sind kleiner als feinmechanisch hergestellte Strukturen. Außerdem ist die erforderliche Schaltleistung sehr gering.

Mikroventile gemäß der Erfindung können z. B. in der Medizin, der Pharmaindustrie, der Biotechnik, Luft- und Raumfahrt oder in Verbindung mit Meßgeräten, z. B. Analysegeräten für die Gaschromatographie angewendet werden.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor. Die Erfindung ist in Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung stellen dar:

Figur 1 einen Querschnitt durch ein Mikroventil gemäß der Erfindung mit einem Teil einer schematisch angedeuteten integrierten Ansteuerung;

Figur 2 eine Aufsicht auf das Mikroventil;

Figur 3 einen Querschnitt durch eine Baugruppe mit mehreren Mikroventilen gemäß der Erfindung.

Ein Mikroventil 1 ist aufgebaut ausgehend von einem monokristallinen Siliziumsubstrat 2 mit einer (100)- oder (110)-Oberflächenorientierung und mit einer Dotierkonzentration $\leq 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Die Unterseite des Siliziumsubstrates 2 ist oxidiert und als elektrisch isolierende SiO_2 -Schicht dargestellt. Auf der Oberseite des Siliziumsubstrats 2 ist eine strukturbildende Schicht 4 vorgesehen, die aus einer aufgewachsenen p⁺-Epitaxialschicht 5 und einer für die nachfolgenden Phototechnik- und Ätzschritte erforderlichen Passivierungsschicht 6 besteht. Die Schicht 5 ist hoch dotiert mit einer Borkonzentration $\geq 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ und dient zugleich als Ätzstoppschicht für die folgenden Ätzschritte.

Durch isotropes Ätzen dieser strukturbildenden Schicht 4 z. B. mit einer $\text{HF-HNO}_3\text{-CH}_3\text{COOH}$ -Mischung werden bevorzugt eine kreisförmige Verschlussmembran 7 und Haltearme 8 geformt, die von der Verschlussmembran 7 bis zum Rand eines Ventilkanales 9 in dem monokristallinen Siliziumsubstrat 2 reichen. Der pyramidenstumpfförmige Ventilkanal 9 wurde durch anisotropes Ätzen längs der (111)-Kristallebenen des Siliziumsubstrates 2 gewonnen. Die SiO_2 -Schicht 3 an der Unterseite des Siliziumsubstrates 2 ist am Boden des Ventilkanales 9 durchbrochen, so daß hier eine Ventilöffnung 10 entsteht.

Auf die Oberseite der strukturbildenden Schicht 4 ist epitaktisch eine n-Distanzschicht 11 aus niedriger dotiertem Silizium aufgebracht, aus der eine Grube als Ventilkammer 12 und Leiterbahngräben 13 herausgeätzt sind.

Auf dem so vorbereiteten Silizium-Chip wird eine Deckschicht aufgesetzt, die auf einem dünnen plattenförmigen Glassubstrat 14 aufgebaut ist. Material des Glassubstrates ist vorzugsweise ein Borsilikatglas, z. B. Pyrex, mit annähernd dem gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie der Silizium-Chip.

Auf die Unterseite des Glassubstrates 14 wird eine Metallschicht aufgedampft oder durch Sputtern aufgebracht und durch entsprechende Photo- und Ätzschritte strukturiert zu einer in diesem Falle kreisförmigen Gegenelektrode 15 zur Verschlussmembran 7, einer damit verbundenen Leiterbahn 16, die in einem ersten Anschluß 17 endet, sowie zu einer weiteren Leiterbahn 18, die in einem zweiten Anschluß 19 endet. Die Leiterbahn 16 verläuft in den Leiterbahngräben 13 elektrisch isoliert gegenüber dem Silizium-Chip, die Leiterbahn 18 ist in Kontakt mit dem Silizium-Chip.

In der Mitte der Gegenelektrode 15 ist das Glassubstrat 14 zu einer Ventilöffnung 20 durchbohrt, z. B. durch Lasereinsatz, Sandstrahlen oder konventionelles Bohren oder Ultraschallbohren.

Die Flächen der Anschlüsse 17 und 19 dienen als Verbindungsflächen für die Verbindung des Siliziumchips mit externen Anschlüssen durch Bonddrähte zu Testzwecken.

Auf die Gegenelektrode 15 wird noch eine Passivierungsschicht 21 aufgebracht, um die Gegenelektrode 15 auch bei Anlage der Verschlussmembran 7 gegenüber dieser elektrisch zu isolieren.

Liegt bei dem derart aufgebauten Mikroventil 1 keine Spannung zwischen den Anschlüssen 17 und 19, so ist das Mikroventil wie dargestellt offen. Wird eine Spannung zwischen die Anschlüsse angelegt, so wird zwischen der Verschlussmembran 7 und der Gegenelektrode 15 ein elektrostatisches Feld erzeugt, so daß sich die Verschlussmembran 7 in Richtung auf die Gegenelektrode bewegt, sich an diese anlegt und die Ventilöffnung 20 verschließt. Das Mikroventil ist dann geschlossen.

Innerhalb des Siliziumchips kann noch eine Ansteuerungsschaltung 22 integriert sein, die in Figur 1 nur angedeutet ist. Schaltungselemente würden sich dann in der n-Epischicht 11 befinden.

In Figur 3 ist eine Baugruppe 31 als Sandwich-Konstruktion aus Silizium und Glas mit mehreren Mikroventilen, in diesem Fall den Mikroventilen 1a, 1b und 1c gezeigt. Ein- und Auslaßöffnungen der Mikroventile können in bestimmten Anordnungen miteinander verbunden sein, um so Verteiler-, Misch- oder Steuerschaltungen zu bilden.

In Figur 3 sind die Eingangsöffnungen der Mikroventile 1b und 1c durch einen Verbindungskanal 32 im Siliziumsubstrat 2' und die Auslaß-Ventilöffnungen der Mikroventile 1a und 1b durch einen Verbindungskanal 33 im Glassubstrat 14' miteinander verbunden.

In Figur 3 ist das Glassubstrat 14' aus einzelnen Platten 34, 35 und 36 aufgebaut: Die Platte 34 entspricht hierbei dem oben beschriebenen Glassubstrat 14, trägt also die elektrisch n Leiterbahnen und die Gegenelektroden. Hierauf ist die zweite Platte 35 gelegt, die als Verteilerplatte auf-

gebaut ist und in der die Verbindungskanäle 33 sowie weitere Auslaßkanäle 37, hier für das Mikroventil 1c, angeordnet sind. Diese Platte ist dann mit der weiteren Platte 36 abgedeckt. Es ist auch ein dickes Glassubstrat denkbar, in dem sich durch geeignete Herstellverfahren, z. B. Bohren oder Ätzen geschaffene Ventilöffnungen und Verbindungskanäle in verschiedenen Ebenen befinden. Statt eines Glassubstrats ist auch ein zweites Siliziumchip als Trägersubstanz möglich; in diesem Fall würde auf das Substrat eine dünne Schicht Pyrex aufgesputtert werden, um eine Verbindung durch anodisches Bonden zu ermöglichen. Eine weitere Verbindungstechnik wäre Kaltlegieren z. B. mit Gold.

Auch in dieser Baugruppe können innerhalb des Silizium-Chips Steuerschaltungen integriert sein, wie oben zu Figur 1 beschrieben.

Ansprüche

1. Mikroventil mit einer auf elektrostatische Kräfte ansprechenden Verschußmembran, die mit Federelementen mit dem Strukturrand eines Siliziumsubstrates verbunden und aus diesem mittels Ätzen hergestellt ist, sowie mit einer durch die Verschußmembran zu verschließenden und freizugebenen Ventilöffnung, in deren Bereich eine Gegenelektrode zu der Verschußmembran angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenelektrode (15) auf der Oberfläche eines weiteren Substrates (14) angeordnet ist, in dem auch die Ventilöffnung (20) vorgesehen ist, und daß das weitere Substrat (14) durch eine Distanzschicht (11) in Abstand von der Verschußmembran (7) gehalten ist.

2. Mikroventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das weitere Substrat ein Glassubstrat (14) ist.

3. Mikroventil nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenelektrode (15) auf der der Verschußmembran (7) zugewandten Oberfläche eine elektrisch isolierende Passivierungsschicht (21) trägt.

4. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Distanzschicht (11) eine epitaxial abgeschiedene Siliziumschicht ist.

5. Mikroventil nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das weitere Substrat (14) und die Distanzschicht (11) durch anodisches Bonden miteinander verbunden sind.

6. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf der der Gegenelektrode (15) abgewandten Seite der Verschußmembran (7) in das Siliziumsubstrat (2)

ein Ventilkanal (9) eingeätzt ist, dessen Begrenzungswände mit den (111)-Kristallebenen zusammenfallen.

7. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Mikroventile (1a, 1b, 1c) in einer Baugruppe aus einem Siliziumsubstrat (2') und einem weiteren Substrat (14') aufgebaut sind, und daß im Siliziumsubstrat (2') und/oder im weiteren Substrat (14') die Ventilkäle bzw. die Ventilöffnungen verschiedener Mikroventile (1a, 1b, 1c) verbindende Sammelkanäle (32, 33) vorgesehen sind.

8. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Siliziumsubstrat (2) eine elektronische Ansteuer-schaltung (22) integriert ist.

20

25

30

35

40

45

50

55

4-

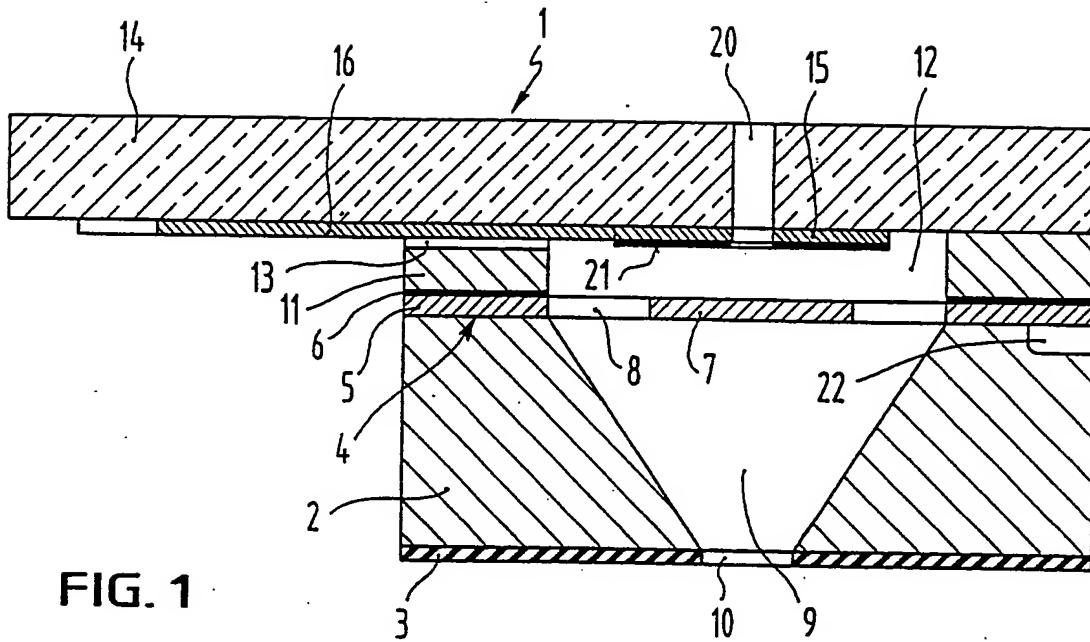


FIG. 1

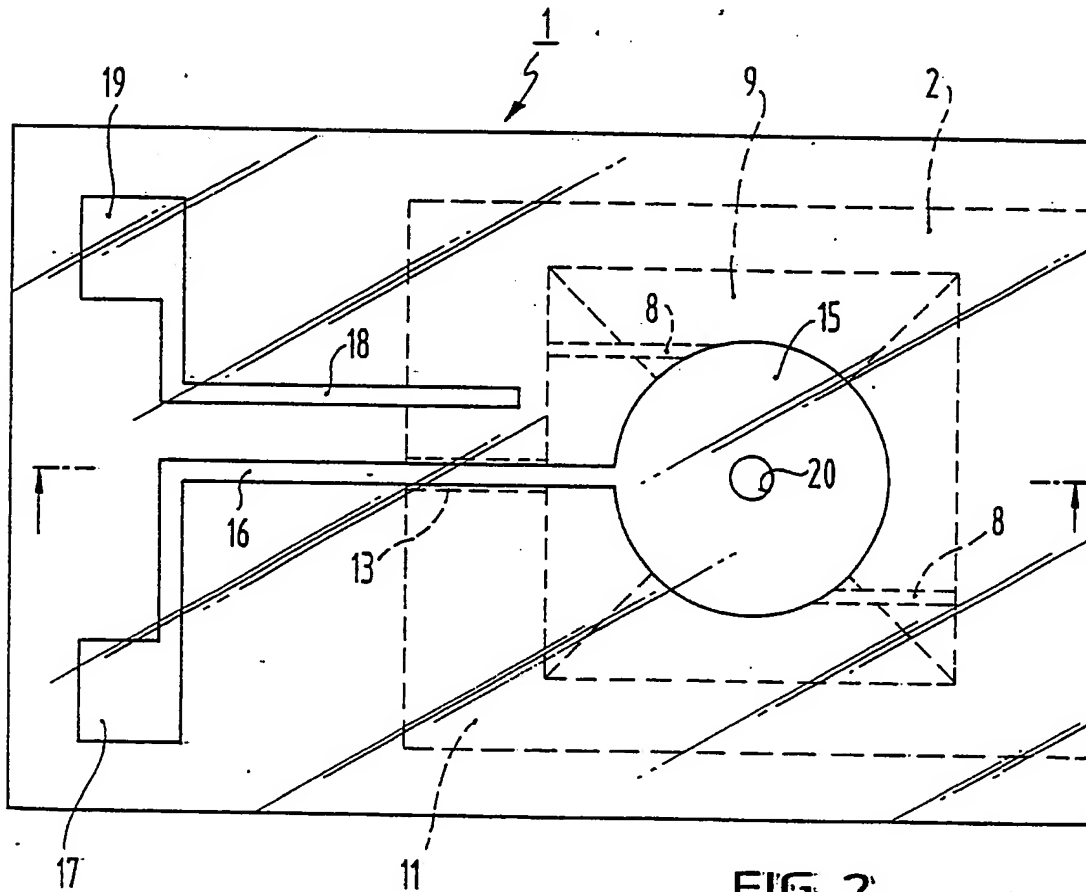


FIG. 2

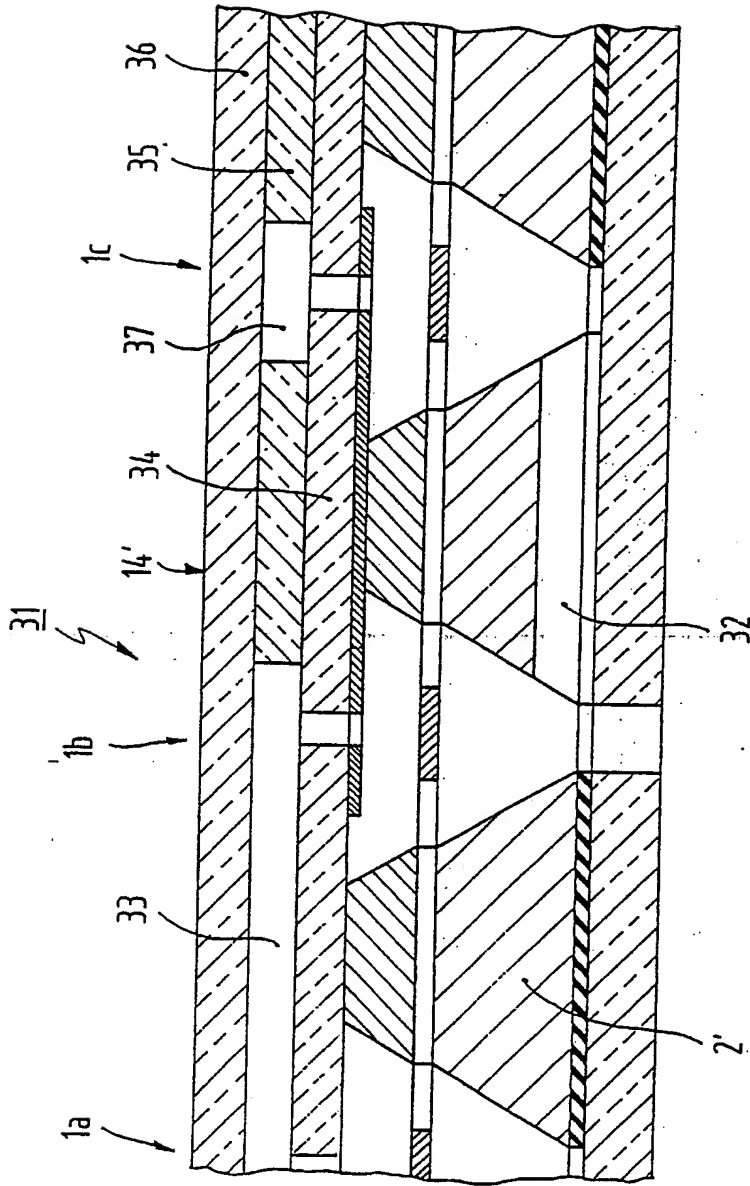


FIG. 3